



Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

71 Anmelder:
Gheorghiu, Victor, Prof. Dr.-Ing., 22145 Hamburg,
DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

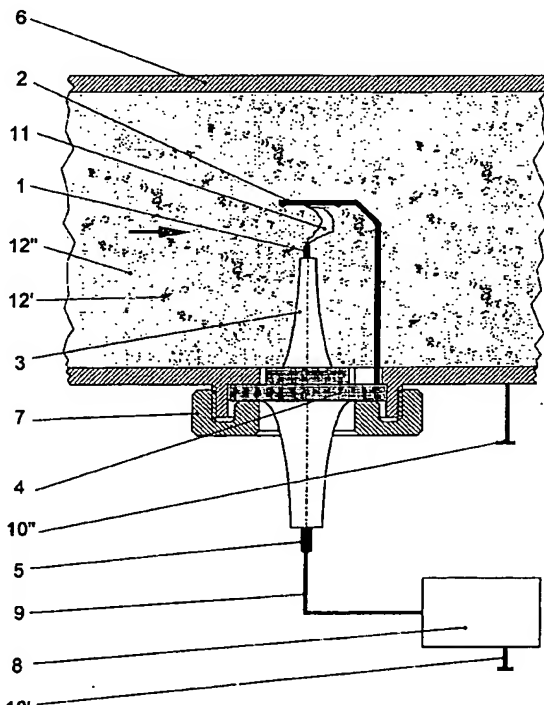
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Meßsonde und Meßverfahren zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen

57 In dieser Zusammenfassung wird nur die Anwendung des Verfahrens für Verbrennungsmotoren behandelt. Die am Motor- oder Rollenprüfstand insbesondere für den Dieselmotor übliche Untersuchung der Rußemission wurde bisher durch die Filter-, Absorptions- oder gravimetrische Methode durchgeführt. Die Bestimmung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration z. B. am laufenden (on board) Fahrzeug blieb bis zum jetzigen Zeitpunkt nur als unerfüllter Wunsch aller Verbrennungsmotorenentwickler.

Die neue Rußsonde und das neue Rußmeßverfahren ermöglichen gemäß dem 3. Patentanspruch eine schnelle on board Erfassung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration. Wie in der Figur 1 dargestellt und gemäß dem 1. Patentanspruch, ist die Rußsonde in der Art einer üblichen Zündkerze für Ottomotoren gebaut. Die Rußsonde wird mit der Mutter (7) am Abgasrohr (6) in der Art befestigt, daß die Masseelektrode (2) in einer Ebene parallel zur Strömungsrichtung vorliegt. Wenn elektrische Hochspannung vom Gerät (8) erzeugt wird, dann werden zwischen Mittel- (1) und Masseelektrode (2) - abhängig vom Spannungsniveau und von der Konzentration der groben (12') und der feinen (12'') Rußpartikel im Abgas - entweder Funken (11) oder nur Ionisationsströme entstehen. Da die Rußpartikel einen niedrigen spezifischen Widerstand als der der Luft besitzen, wird die Erfassung der Partikelkonzentration im Abgas gemäß dem 2. Patentanspruch, Fall a) für eine unbeheizte und Fall b) für eine beheizte Rußsonde, ...



In dieser Beschreibung wird nur die Anwendung des Verfahrens für Verbrennungsmotoren behandelt. Alle anderen Anwendungsfälle können entweder mit Hilfe der Patentansprüche oder durch Verallgemeinerung dieses Anwendungsfalles gewonnen werden.

Die am Motor- oder Rollenprüfstand insbesondere für den Dieselmotor übliche Untersuchung der Rußemission wurde bisher mit Hilfe folgender Methode durchgeführt:

1. Bei der Filtermethode wird eine definierte Menge Abgas durch ein weißes Filterplättchen gezogen. Die Schwärzung des Filters dient dann als Maßstab für den Rußanteil im Abgas.
2. Bei der Absorptionsmethode (Trübungsmessung) dient als Maß für die Rußkonzentration die Schwächung eines Lichtstrahls, der durch das Abgas geschickt wird ("Kraftfahrtechnisches Taschenbuch" /Bosch, 21 Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1991, Seite 518).
3. Bei der gravimetrischen Methode wird wie bei der Filtermethode eine definierte eventuell mit Luft verdünnte Menge Abgas durch ein Filterplättchen gezogen. Die Rußpartikelkonzentration der Abgase wird gravimetrisch durch die Differenz zwischen dem Gewicht des Filterplättchens vor und nach der Messung ermittelt.

Die kontinuierliche Meßergebnisse der Rauchgasmessung sind sowohl abhängig vom Meßverfahren als auch von der Art der Motorbelastung und lassen sich im allgemeinen nicht direkt vergleichen ("Kraftfahrtechnisches Taschenbuch" /Bosch, 21 Auflage, Düsseldorf, VDI-Verlag, 1991, Seite 519).

Die kontinuierliche Bestimmung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration z. B. am laufenden (on board) Fahrzeug, die einerseits Rückmeldung über die Güte der Gemischbildung und die Vollständigkeit der Verbrennung und andererseits Auskunft über das Niveau der Emissionen geben kann, blieb bis zum jetzigen Zeitpunkt nur als unerfüllter Wunsch aller Verbrennungsmotorenentwickler.

Um die Bedeutung einer solchen Entwicklung besser zu verstehen, wird als Beispiel der Fall eines abgasturboaufgeladenen Dieselmotors mit Direkteinspritzung (TDI-Motor) ausgewählt. Bei diesem Motor erfolgt zur Zeit die Motorsteuerung meist nur basierend auf den einmalig gespeicherten Kennfeldern (kennfeldbasierend).

Eine erste Rückkopplung über das Abfließen der gesteuerten Prozesse – wenn ein Nadelbewegungsfühler vorhanden ist – bietet das Nadelhubsignal, d. h. der dynamische Einspritzbeginn kann dadurch tatsächlich erfaßt und z. B. mit Hilfe des in der Verteilereinspritzpumpe integrierten Spritzverstellers entsprechend geregelt werden.

Eine weitere Rückkopplung wird für die Erfassung der angesaugten Luftmasse eingesetzt, die entweder direkt mittels eines Luftmassenmessers oder über die Erfassung des Saugrohrdruckes erfolgt. Die so gewonnene Information über die angesaugte Luftmasse stimmt nur dann mit der Realität überein, wenn der Motor im Stationärbetrieb arbeitet. Ist dies nicht der Fall, muß man dann mit geeigneten Algorithmen die Instationarität der Luftströmung entsprechend kompensieren. Darüber hinaus gibt es über die tatsächliche Größe der eingespritzten Kraftstoffmasse, über die Qualität der Gemischbildung, über die Effektivität und Vollständigkeit der Verbrennung und über die Menge oder Konzentrationen der ausgestoßenen Schadstoffe keine weiteren Informationen on board mehr zu gewinnen.

Da die Motorsteuerung nur basierend auf den einmalig gespeicherten Kennfeldern erfolgt, aus denen durch Interpolation bezüglich Drehzahl, Last, Kühlmitteltemperatur und Umgebungszustand (Temperatur und Druck) die notwendigen Werte für den Winkel des Mengenstellwerks (der die Menge des eingespritzten Kraftstoffs bestimmt) und z. B. für die Breite der PWM-Pulse width modulated oder Tastverhältnis-Signale zur Steuerung des AGR-Abgasrückführung-, Waste gate-Bypassventil für die Abgase, das vor der Turbine eines Abgasturboladers plaziert ist bzw. VTG-variable Turbinengeometrie-Ventils gewonnen werden, gibt es auch keine Möglichkeit, die Steuerung den veränderten Betriebsbedingungen anzupassen.

Dementsprechend, wenn Veränderungen im Motorverhalten auftreten (z. B. ein niedriger Verdichtungsdruck wegen des aufgetretenen Verschleißes, Malfunktion einer oder mehrerer Einspritzdüsen usw.) und in den Eigenschaften der Betriebsstoffe (etwa veränderte Kraftstoffqualität, z. B. bezüglich der Cetanzahl), dessen Ausgleich vorerst während der Entwicklungsphase nicht in den Kennfeldern eingebunden wurde, reagiert dann die Motorsteuerung mit Sicherheit nicht optimal.

Die neue Rußsonde und das neue Rußmeßverfahren ermöglichen gemäß dem 3. Patentanspruch eine schnelle on board Erfassung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration, was eine Regelung im geschlossenen Kreis zur Begrenzung des Rußausstoßes erlaubt.

Wie in den Fig. 1 und 2 dargestellt und gemäß dem 1. Patentanspruch, ist die Rußsonde in der Art einer üblichen Zündkerze für Ottomotoren gebaut. Sie besteht aus einer Mittelelektrode (1), einer mit dem Metallgehäuse (4) verbundenen Masseelektrode (2), einem Isolator (3) (z. B. aus Al_2O_3 -Keramik) zur elektrischen Isolierung der Mittelelektrode (1) zur Masse bzw. Masseelektrode (2) und einem Anschlußbolzen (5).

Die elektrische Hochspannung wird mit Hilfe des Gerätes (8) erzeugt und über den Hochspannungsleiter (9) zum Anschlußbolzen (5) der Rußsonde weitergeleitet. Die Masse (10') des Gerätes (8) und die (10'') der Rußsonde müssen zusammen verbunden sein.

Als erstes Anwendungsbeispiel zeigt die Fig. 1 den Aufbau der Rußsonde in einem Abgasrohr (6). Die Rußsonde wird mit der Mutter (7) am Abgasrohr (6) in der Art befestigt, daß die Masseelektrode (2) in einer Ebene parallel zur Strömungsrichtung liegt. Wenn elektrische Hochspannung vom Gerät (8) erzeugt wird, dann werden zwischen den Elektroden, genauer gesagt zwischen der Spitze der Mittelelektrode (1) und den Spitzen (2') (s. auch das Detail von Fig. 2) der Masseelektrode (2) – abhängig vom Spannungsniveau und von der Konzentration der groben (12') und der feinen (12'') Rußpartikel im Abgas – entweder Funken (11) oder nur Ionisationsströme entstehen. Da die Rußpartikel einen niedrigeren spezifischen Widerstand als die Luft besitzen, wird die Erfassung der Partikelkonzentration im Abgas gemäß dem 2. Patentanspruch, Fall a) für eine unbeheizte und Fall b) für eine beheizte Rußsonde, durchgeführt.

Als zweites Anwendungsbeispiel zeigt die Fig. 3 den Aufbau der Rußsonde in einem Abgasrohr (6), wobei die Mittelelektrode (1) und die Masseelektrode (2) getrennt am Abgasrohr befestigt sind. Diese Anordnung bietet zusätzlich folgende Möglichkeiten an:

1. Der Abstand zwischen den Elektroden und die relative Lage der Elektroden im Abgasrohr ist einfacher zu gestalten.

2. Eine größere Freiheit in der Formgebung der Masselektrode (z. B. als ebene oder gebeugte Platte aus Blech oder Drahtgitter usw.) und somit eine genauere Erfassung des Rußgehaltes wird ermöglicht.

Als drittes Anwendungsfall kann man als Masselektrode direkt die aus Metall angefertigte Wand des Abgasrohrs verwendet werden. Somit wird die Erfassung des Rußgehaltes auch im Falle von Abgasrohren mit relativ kleinen Innendurchmessern ermöglicht.

Wenn zum Beispiel die am unbeheizten Isolator (3) haftenden Rußpartikel eine elektrisch leitende Rußschicht (die praktisch einen Kurzschluß zwischen den Elektroden darstellt) auf der Isolatoroberfläche gebildet haben, wird die zwischen der Mittelelektrode (1) und Masse (10") eingesetzte Hochspannung durch diese Schicht so hohe elektrische Ströme erzeugen, daß die haftende Rußschicht zum Abbrennen gebracht wird. In dieser Art wird die Selbstreinigung der unbeheizten Sonde erreicht.

Der Zustand (Druck, Temperatur, Zusammensetzung) der Abgasen spielen eine gewisse Rolle bei der Feststellung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration. Da z. B. die Temperatur der Abgase und das Luft-Kraftstoff-Verhältnis, mit dem die Verbrennung im Zylinder erfolgt, praktisch von allen heutzutage entwickelten Steuergeräten erfaßt werden, können jedoch deren Einflüsse bei der Feststellung des Rußgehaltes und der Rußpartikelkonzentration – wenn eine erhöhte Genauigkeit angestrebt wird – zum Beispiel mit Hilfe von Kennlinien kompensiert werden.

Will man nun die Erfassung des Rußgehaltes in den Abgasen auch während der Startphase des Motors durchführen können, dann soll die Rußsonde unmittelbar vor dem Motorstart durch Abbrennen der abgelagerten Rußschicht gereinigt werden. Während der ersten Motorumdrehungen, Zeitabschnitt in dem üblicherweise noch kein Kraftstoff der angesaugten Luft zugemischt und somit nur Luft (mit eventuell wenigen Restabgasen) ausgestoßen wird, kann das Eichchen einer in der unmittelbaren Nähe von Auslaßventilen eingebauten Rußsonde erfolgen. Das Eichverfahren der Rußsonde kann immer wieder während jedes Schubbetriebs des Motors wiederholt werden, da die Kraftstoffzufuhr in diesen Betriebspunkten ebenfalls unterbrochen wird.

Die Rußsonde kann als Sensor in der Motorsteuerung von Diesel- und Ottomotoren (auch die Ottomotoren stoßen im Magerbetrieb relativ viel Ruß aus)

1. sowohl in den Regelkreisen zur Begrenzung des Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentration zum Beispiel bei schnellen Laständerungen des Motors
2. als auch im Rahmen von On Board Diagnosis (OBD)-Funktionen, um durch die Überwachung der Höhe des Rußausstoßes Auskunft über die Malfunktion der verschiedenen Systeme (wie Einspritzung, Kühlung, Abgasrückführung, Aufladung, Schmierung usw.) des Motors zu gewinnen, integriert werden.

Patentansprüche

1. Meßsonde zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen, die in der Art einer Zündkerze für Ottomotoren gebaut werden kann, wobei die Hochspannung zwischen der Mittel- und der Masselektrode eingeleitet wird, um dadurch das zwischen den Elektroden befindliche Gas und die dort im Gas vorliegenden Partikel zu ionisieren und somit zwischen den Elektroden auch Funken ent-

stehen zu lassen, bei der jedoch:

- a) einerseits der minimale Abstand zwischen den Elektroden und andererseits der Abstand zwischen der Mittelelektrode und der Masse üblicherweise viel größer als der bei den Zündkerzen ist,
- b) das Positionieren der Elektroden für das genaue Messen der Partikelkonzentration und zur Einsparung der dazu notwendigen elektrischen Energie – im Falle eines mit größeren Geschwindigkeiten strömenden Gases – die Strömungsrichtung berücksichtigen soll,
- c) und eine eventuelle Beheizung des Mittelelektrodenisolators zur Reinigung der Sonde – somit zum Verhindern des Auftretens eines Kurzschlusses zwischen der Mittelelektrode und der Masse – eingesetzt werden kann.

2. Meßverfahren zur schnellen Erfassung der Partikelkonzentration in strömenden und ruhenden unbrennbaren Gasen, das mit Hilfe einer gemäß dem 1. Patentanspruch realisierten Meßsonde durchgeführt wird, wobei dieses Meßverfahren

- a) im Falle von Partikeln mit einem gegenüber dem Gas niedrigeren spezifischen elektrischen Widerstand, die am Isolator der Mittelelektrode haften und dadurch einen Kurzschluß zwischen dieser und der Masse verursachen könnten, was das Meßverfahren zum Scheitern bringen würde, und einer unbeheizten Meßsonde in den folgenden Schritten durchgeführt wird:

- I. die elektrische Spannung wird so hoch angehoben, bis ständig Funken zwischen den Elektroden auftreten; dadurch werden die am Isolator rund um die Mittelelektrode haftenden Partikel abgebrannt, und somit wird auch die Selbstreinigung der Sonde erreicht
- II. das Niveau der elektrischen Spannung wird nun schrittweise gesenkt, bis zwischen den Elektroden keine Funken mehr auftreten,
- III. das Minimalniveau der elektrischen Spannung, bei der noch Funken zwischen den Elektroden auftreten, wird als Maß für die Partikelkonzentration verwendet,

und

- b) im Falle von Partikeln mit einem gegenüber dem Gas niedrigeren spezifischen elektrischen Widerstand und einer beheizten Meßsonde

und im Falle von Partikeln mit einem gegenüber dem Gas höheren spezifischen elektrischen Widerstand entweder wie oben schon unter Punkt a) dargestellt oder wie in den folgenden Varianten durchgeführt wird:

- I. das Niveau der elektrischen Spannung wird konstant gehalten, und die Größe des dadurch zwischen den Elektroden entstehenden Ionisationsstroms wird als Maß für die Partikelkonzentration verwendet,
- II. das Niveau der elektrischen Spannung, die nun als Maß für die Partikelkonzentration verwendet wird, wird in der Art variiert, um die Größe des zwischen den Elektroden entstehenden Ionisationsstroms konstant zu halten.

3. Rußsonde gemäß dem 1. Patentanspruch und Rußmeßverfahren gemäß dem 2. Patentanspruch zur schnellen Erfassung des Rußgehaltes und/oder Rußpar-

tikelkonzentration in den Verbrennungsabgasen,
wobei die Rußsonde an jeder beliebigen Stelle im Ab-
gassystem eingesetzt werden kann,

d. h. im Falle von Verbrennungsmotoren,

- a) daß die Rußsonde auch in der unmittelbaren 5
Nähe von Auslaßventilen eingebaut werden kann,
wodurch sich die Totzeit bei der Erfassung des
Rußgehaltes und/oder der Rußpartikelkonzentra-
tion vorteilhaft gegen null reduzieren läßt,
- b) und daß – wegen der kurzen Zyklusmeßzeit, 10
die dieses Rußmeßverfahren verlangt – gar eine
kontinuierliche und somit eine arbeitsspielsyn-
chrone Erfassung des Rußgehaltes und/oder der
Rußpartikelkonzentration erreicht werden kann.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

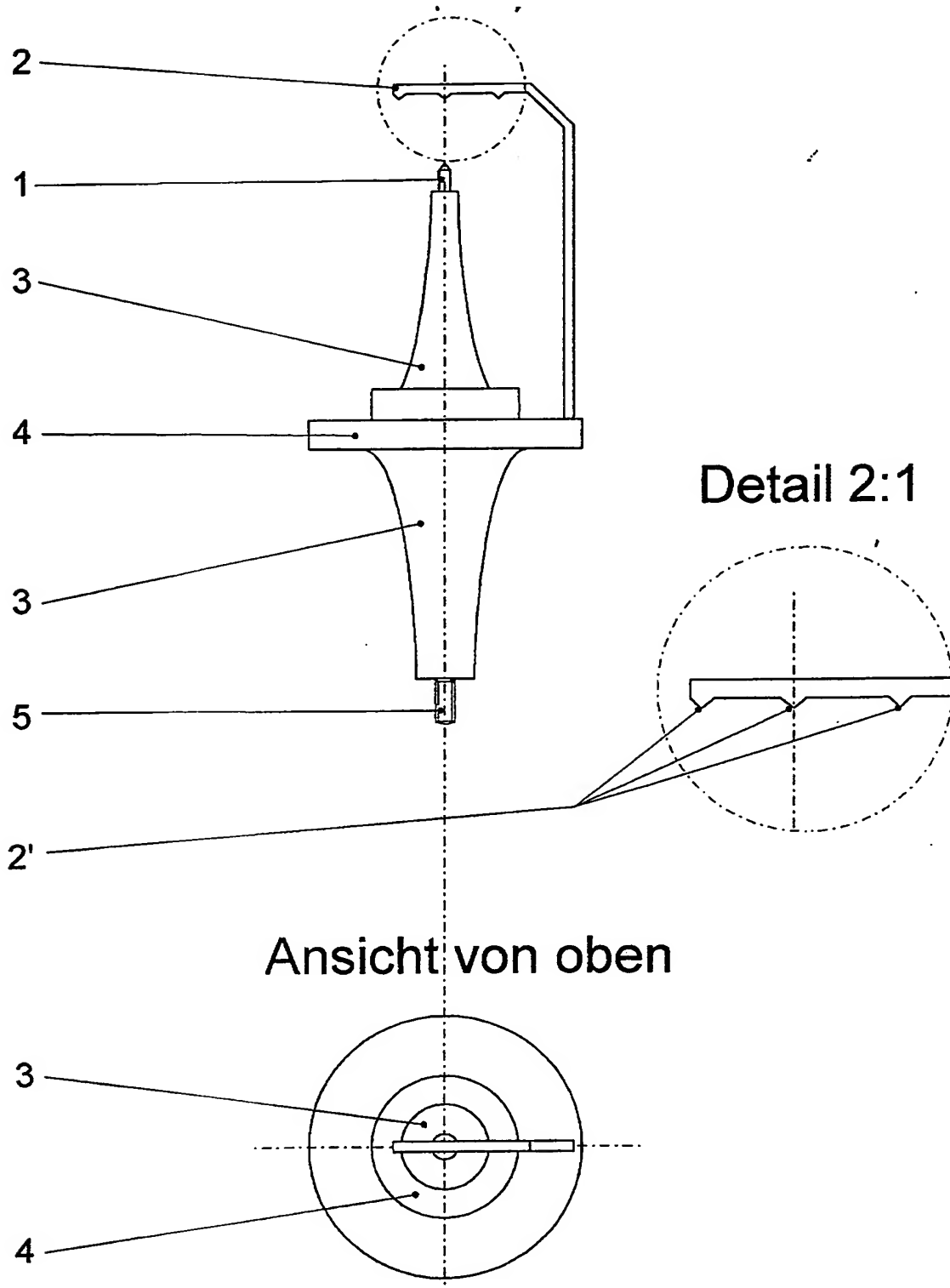
50

55

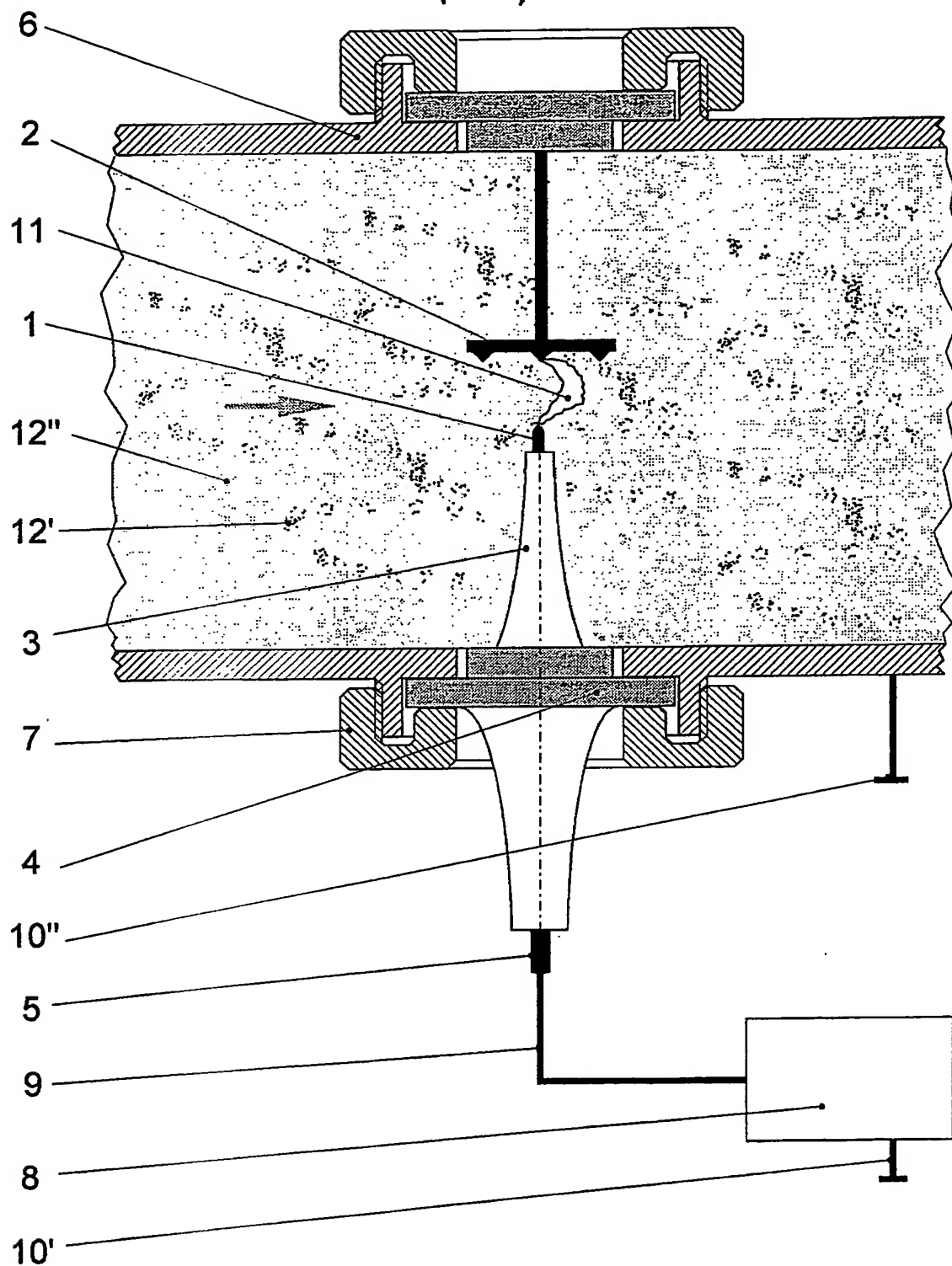
60

65





Figur 2



Figur 3